

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)		
G 0 2 B	27/28	G 0 2 B	27/28	Z	2 H 0 4 9
	5/30		5/30		2 H 0 9 1
G 0 2 F	1/13363	G 0 2 F	1/13363		2 H 0 9 9
G 0 3 B	21/00	G 0 3 B	21/00	E	5 C 0 6 0
	33/12		33/12		

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-217427(P2000-217427)

(22)出願日 平成12年7月18日(2000.7.18)

(71)出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社  
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72)発明者 竹澤 武士

長野県諏訪市大和三丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 橋爪 俊明

長野県諏訪市大和三丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74)代理人 100096817

弁理士 五十嵐 孝雄 (外3名)

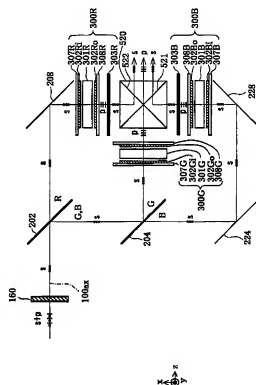
最終頁に続く

## (54)【発明の名称】 プロジェクタ

## (57)【要約】

【課題】 プロジェクタに用いられる位相差層の光学特性の劣化を低減することのできる技術を提供する。

【解決手段】 プロジェクタは、照明光を射出する照明光学系と、照明光学系からの光を画像情報に応じて変調する電気光学装置と、電気光学装置で得られる変調光線束を投写する投写光学系とを備えている。照明光学系と投写光学系を含む光路中には、入射する光の偏光状態を変更して射出するための位相差層が備えられており、位相差層は、単結晶サファイアや水晶などの複屈折性結晶で形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光を射出する照明光学系と、前記照明光学系からの光を画像情報に応じて変調する電気光学装置と、

前記電気光学装置で得られる変調光線束を投写する投写光学系と、を備え、

前記照明光学系と前記投写光学系を含む光路中には、入射する光の偏光状態を変更して射出するための位相差層が備えられており、

前記位相差層は、複屈折性結晶で形成されていることを特徴とするプロジェクト。 10

【請求項2】 請求項1記載のプロジェクトであって、前記複屈折性結晶は、一軸結晶である、プロジェクト。

【請求項3】 請求項2記載のプロジェクトであって、前記一軸結晶は、単結晶サファイアまたは水晶である、プロジェクト。

【請求項4】 請求項1ないし3のいずれかに記載のプロジェクトであって、

前記照明光学系は、所定の偏光光を射出する偏光発生部を備え、前記偏光発生部は、

入射する光を2種類の偏光光に分離するための偏光分離部と、

前記偏光分離部から射出される2種類の偏光光のうちの一方を他方に揃えるための前記位相差層とを備える、プロジェクト。 20

【請求項5】 請求項1ないし3のいずれかに記載のプロジェクトであって、

前記電気光学装置は、その光入射面側と光射出面側とのうちの少なくとも一方に前記位相差層を備える、プロジェクト。 30

【請求項6】 請求項5記載のプロジェクトであって、前記電気光学装置は、偏光板を備えており、

前記偏光板は、前記電気光学装置の光入射面側と光射出面側とのうちの少なくとも一方に備えられた前記位相差層上に設けられている、プロジェクト。

【請求項7】 カラー画像を投写表示するためのプロジェクトであって、

照明光を射出する照明光学系と、前記照明光学系から射出された前記照明光を、3つの色成分をそれぞれ有する第1ないし第3の色光に分離する色光分離光学系と、

前記色光分離光学系により分離された第1ないし第3の色光を、画像情報に応じて変調して、第1ないし第3の変調光線束を生成する第1ないし第3の電気光学装置と、

前記第1ないし第3の変調光線束を合成する色合成光学系と、

前記色合成光学系から射出される合成光を投写する投写光学系と、を備え、

前記照明光学系と前記投写光学系を含む光路中には、入射する光の偏光状態を変更して射出するための位相差層が備えられており、

前記位相差層は、複屈折性結晶で形成されていることを特徴とするプロジェクト。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、画像を投写表示するプロジェクトに関する。

【0002】

【従来の技術】プロジェクトでは、照明光学系から射出された光を、液晶ライトバルブなどを用いて画像情報（画像信号）に応じて変調し、変調された光をスクリーン上に投写することにより画像表示を実現している。

【0003】液晶ライトバルブを用いたプロジェクトでは、通常、液晶ライトバルブに所定の直線偏光光を入射させる。そして、光源から射出された偏りのない光を効率よく液晶ライトバルブに入射させるために、照明光学系には、光源から射出された偏りのない光を所定の直線偏光光に変換して射出するための偏光発生部が備えられている。

【0004】偏光発生部は、入射する偏りのない光を2種類の直線偏光光に分離するための偏光分離部と、偏光分離部から射出される2種類の直線偏光光のうちの一方を他方の直線偏光光に揃えるための位相差層とを備えている。

【0005】従来では、位相差層として、ポリビニルアルコール（PVA）フィルムをトリアセチルセルロース（TAC）フィルムで挟み込んだ位相差フィルムなどの有機材料系の位相差フィルムが用いられていた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のような有機材料系の位相差フィルムを用いる場合には、位相差フィルムを光が通過することによって、位相差フィルムが発熱し、この結果、位相差フィルムの光学特性が劣化してしまうという問題があった。

【0007】この発明は、従来技術における上述の課題を解決するためになされたものであり、プロジェクトに用いられる位相差層の光学特性の劣化を低減することのできる技術を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段およびその作用・効果】上述の課題の少なくとも一部を解決するため、本発明の第1の装置は、プロジェクトであって、照明光を射出する照明光学系と、前記照明光学系からの光を画像情報に応じて変調する電気光学装置と、前記電気光学装置で得られる変調光線束を投写する投写光学系と、を備え、前記照明光学系と前記投写光学系を含む光路中には、入射する光の偏光状態を変更して射出するための位相差層が備えられており、前記位相差層は、複屈折性結晶で形成

3

されていることを特徴とする。

【0009】本発明の第1の装置では、照明光学系と投写光学系を含む光路中に備えられた位相差層として、複屈折性結晶で形成された位相差層が用いられているので、位相差層の光学特性の劣化を低減することが可能となる。

【0010】上記の装置において、前記複屈折性結晶は、一軸結晶であることが好ましい。

【0011】このように、一軸結晶を用いれば、所望の光学特性を発揮する位相差層を容易に設計することが可能となる。

【0012】また、上記の装置において、前記一軸結晶は、単結晶サファイアまたは水晶であるようにしてもよい。

【0013】単結晶サファイアや水晶は、熱伝導率が比較的高いため、位相差層自体の温度上昇を低減させることができ、この結果、単結晶サファイアや水晶の光学特性の温度依存性を低減することが可能となる。

【0014】上記の装置において、前記照明光学系は、所定の偏光光を射出する偏光発生部を備え、前記偏光発生部は、入射する光を2種類の偏光光に分離するための偏光分離部と、前記偏光分離部から射出される2種類の偏光光のうちの一方を他方に揃えるための前記位相差層とを備えるようにしてもよい。

【0015】あるいは、上記の装置において、前記電気光学装置は、その光入射面側と光射出面側とのうちの少なくとも一方に前記位相差層を備えるようにしてもよい。

【0016】こうすれば、偏光発生部や電気光学装置などにおいて用いられる位相差層の光学特性の劣化を低減させることができる。

【0017】また、上記の装置において、前記電気光学装置は、偏光板を備えており、前記偏光板は、前記電気光学装置の光入射面側と光射出面側とのうちの少なくとも一方に備えられた前記位相差層上に設けられているようにしてもよい。

【0018】こうすれば、位相差層は、偏光板を保持する保持基板として機能するとともに、偏光板の発熱を放出することにより、偏光板の温度上昇を低減させることができる。

【0019】本発明の第2の装置は、カラー画像を投写表示するためのプロジェクトであって、照明光を射出する照明光学系と、前記照明光学系から射出された前記照明光を、3つの色成分をそれぞれ有する第1ないし第3の色光に分離する色光分離光学系と、前記色光分離光学系により分離された第1ないし第3の色光を、画像情報に応じて変調して、第1ないし第3の変調光線束を生成する第1ないし第3の電気光学装置と、前記第1ないし第3の変調光線束を合成する色合成光学系と、前記色合成光学系から射出される合成光を投写する投写光学系

4

と、を備え、前記照明光学系と前記投写光学系とを含む光路中には、入射する光の偏光状態を変更して射出するための位相差層が備えられており、前記位相差層は、複屈折性結晶で形成されていることを特徴とする。

【0020】本発明の第2の装置でも、位相差層は複屈折性結晶で形成されているので、第1の装置と同様の作用・効果を奏し、位相差層の光学特性の劣化を低減することが可能となる。

【0021】

【発明の実施の形態】A. 第1実施例：本発明の実施の形態を実施例に基づき説明する。図1は、本発明を適用したプロジェクトを示す説明図である。プロジェクト1000は、光源装置120を含む照明光学系100と、色光分離光学系200と、リレー光学系220と、3つの液晶ライトバルブ300R、300G、300Bと、クロスダイクロックプリズム520と、投写レンズ540とを備えている。

【0022】照明光学系100(図1)から射出された光は、色光分離光学系200において赤(R)、緑(G)、青(B)の3色の色光に分離される。分離された各色光は、液晶ライトバルブ300R、300G、300Bにおいて画像情報に応じて変調される。変調された各色光は、クロスダイクロックプリズム520で合成され、投写レンズ540によってスクリーンSC上にカラー画像が投写表示される。

【0023】図2は、図1の照明光学系100を拡大して示す説明図である。この照明光学系100は、光源装置120と、第1および第2のレンズアレイ140、150と、偏光発生光学系160と、重畳レンズ170とを備えている。光源装置120と第1および第2のレンズアレイ140、150とは、光源光軸120axを基準として配置されており、偏光発生光学系160と重畳レンズ170とは、システム光軸100axを基準として配置されている。光源光軸120axは、光源装置120から射出される光線束の中心軸であり、システム光軸100axは、偏光発生光学系160より後段の光学素子から射出される光線束の中心軸である。図示するように、システム光軸100axと光源光軸120axとは、x方向に所定のずれ量Dpだけほぼ平行にずれている。このずれ量Dpについては後述する。なお、図2において照明光学系100が照明する照明領域Aは、図1の液晶ライトバルブ300R、300G、300Bに対応する。

【0024】光源装置120は、略平行な光線束を射出する機能を有している。光源装置120は、発光管122と、回転楕円面形状の凹面を有するリフレクタ124と、平行化レンズ126とを備えている。発光管122から射出された光は、リフレクタ124によって反射され、反射光は、平行化レンズ126によって光源光軸120axにほぼ平行な光に変換される。なお、光源装

5

置としては、回転放物面形状の凹面を有するリフレクタを用いてもよい。

【0025】第1のレンズアレイ140は、マトリクス状に配列された複数の小レンズ142を有している。各小レンズ142は平凸レンズであり、z方向から見たときの外形形状は、照明領域LA（液晶ライトバルブ）と相似形となるように設定されている。第1のレンズアレイ140は、光源装置120から射出された略平行な光線束を複数の部分光線束に分割して射出する。

【0026】第2のレンズアレイ150は、マトリクス状に配列された複数の小レンズ152を有しており、第1のレンズアレイ140と同様のものが用いられている。第2のレンズアレイ150は、第1のレンズアレイ140から射出された部分光線束のそれぞれの中心軸をシステム光軸100axとほぼ平行に揃える機能を有しているとともに、第1のレンズアレイ140の各小レンズ142の像を照明領域LA上に結像させる機能を有している。

【0027】第1のレンズアレイ140の各小レンズ142から射出された部分光線束は、図示するように、第2のレンズアレイ150を介して、その近傍位置、すなわち、偏光発生光学系160内において集光される。

【0028】図3は、偏光発生光学系160を示す説明図である。図3(A)は、偏光発生光学系160の斜視図を示しており、図3(B)は、+y方向から見たときの平面図の一部を示している。偏光発生光学系160は、透光板62と、偏光ビームスプリッタアレイ64と、選択位相差板66とを備えている。なお、偏光発生光学系160は、本発明における偏光発生部に相当する。

【0029】偏光ビームスプリッタアレイ64は、図3(A)に示すように、略平行四辺形の断面を有する柱状のガラス材64cが複数貼り合わされて構成されている。各ガラス材64cの界面には、偏光分離膜64aと反射膜64bとが交互に形成されている。なお、偏光分離膜64aとしては誘電体多層膜が用いられ、反射膜64bとしては誘電体多層膜や金属膜が用いられる。

【0030】透光板62は、透光面62bと開口面62aとがストライプ状に配列されて構成されている。透光板62は、透光面62bに入射する光線束を遮り、開口面62aに入射する光線束を通過させる機能を有している。透光面62bと開口面62aとは、第1のレンズアレイ140（図2）から射出された部分光線束が偏光ビームスプリッタアレイ64の偏光分離膜64aのみに入射し、反射膜64bには入射しないように配列されている。具体的に、図3(B)に示すように、透光板62の開口面62aの中心は、偏光ビームスプリッタアレイ64の偏光分離膜64aの中心とほぼ一致するように配置されている。また、開口面62aのx方向の開口幅Wpは、偏光分離膜64aのx方向の大きさとはほぼ等しく

6

設定されている。このとき、透光板62の開口面62aを通過した光線束は、偏光分離膜64aのみに入射し、反射膜64bには入射しないこととなる。なお、透光板62としては、平板状の透明体（例えばガラス板）に透光性の膜（例えばクロム膜や、アルミニウム膜、誘電体多層膜など）を部分的に形成したものを用いることができる。また、アルミニウム板のような透光性の平板に開口部を設けたものを用いてもよい。

【0031】第1のレンズアレイ140（図2）から射出された各部分光線束は、図3(B)に実線で示すように、その主光線（中心軸）がシステム光軸100axにはほぼ平行に透光板62の開口面62aに入射する。開口面62aを通過した部分光線束は、偏光分離膜64aに入射する。偏光分離膜64aは、入射した部分光線束をs偏光の部分光線束とp偏光の部分光線束とに分離する。このとき、p偏光の部分光線束は偏光分離膜64aを透過し、s偏光の部分光線束は偏光分離膜64aで反射される。偏光分離膜64aで反射されたs偏光の部分光線束は、反射膜64bに向かい、反射膜64bにおいてさらに反射される。このとき、偏光分離膜64aを透過したp偏光の部分光線束と、反射膜64bで反射したs偏光の部分光線束とは、互いにはほぼ平行となっている。

【0032】選択位相差板66は、開口層66aと $\lambda/2$ 位相差層66bとによって構成されている。開口層66aは、入射する直線偏光をそのまま透過する機能を有している。一方、 $\lambda/2$ 位相差層66bは、入射する直線偏光を、偏光方向が直交する直線偏光に変換する偏光変換素子としての機能を有している。本実施例においては、図3(B)に示すように、偏光分離膜64aを透過したp偏光の部分光線束は、 $\lambda/2$ 位相差層66bに入射する。したがって、p偏光の部分光線束は、 $\lambda/2$ 位相差層66bにおいて、s偏光の部分光線束に変換されて射出される。一方、反射膜64bで反射されたs偏光の部分光線束は、開口層66aに入射するもので、s偏光の部分光線束のまま射出される。すなわち、偏光発生光学系160に入射した偏りのない部分光線束は、s偏光の部分光線束に変換されて射出されることとなる。なお、反射膜64bで反射されるs偏光の部分光線束の射出面だけに $\lambda/2$ 位相差層66bを配置することにより、偏光発生光学系160に入射する部分光線束をp偏光の部分光線束に変換して射出することもできる。選択位相差板66としては、開口層66aの部分に何も設けず、単に、 $\lambda/2$ 位相差層66bをp偏光の部分光線束またはs偏光の部分光線束の射出面に貼りつけるようなものであってもよい。

【0033】図3(B)から分かるように、偏光発生光学系160から射出される2つのs偏光の中心は、入射する偏りのない光（s偏光+p偏光）の中心よりも+x方向にずれている。このずれ量は、 $\lambda/2$ 位相差

層66bの幅Wp(すなわち、偏光分離膜64aのx方向の大きさ)の半分に等しい。このため、図2に示すように、光源光軸120axとシステム光軸100axとは、 $Wp/2$ に等しい距離Dpだけずれている。

【0034】第1のレンズアレイ140から射出された複数の部分光線束は、上記のように、偏光発生光学系160によって各部分光線束ごとに2つの部分光線束に分離されるとともに、それぞれ偏光方向の揃ったほぼ1種類の直線偏光に変換される。偏光方向の揃った複数の部分光線束は、図2に示す重畳レンズ170によって照明領域LA上で重畳されることとなる。このとき、照明領域LAを照射する光の強度分布は、ほぼ均一となっている。

【0035】照明光学系100(図1)は、偏光方向の揃った照明光(s偏光)を射出し、色光分離光学系200やリレー光学系220を介して、液晶ライトバルブ300R、300G、300Bを照明する。

【0036】色光分離光学系200は、2枚のダイクロミックミラー202、204と、反射ミラー208とを備えており、照明光学系100から射出される光線束を、赤、緑、青の3色の色光に分離する機能を有する。第1のダイクロミックミラー202は、照明光学系100から射出された光の赤色光成分を透過させるとともに、青色光成分と緑色光成分とを反射する。第1のダイクロミックミラー202を透過した赤色光Rは、反射ミラー208で反射されて、クロスダイクロックプリズム520へ向けて射出される。色光分離光学系200から射出された赤色光Rは、フィールドレンズ232を通過して赤色光用の液晶ライトバルブ300Rに達する。このフィールドレンズ232は、照明光学系100から射出された各部分光線束をその中心軸に対して平行な光線束に変換する機能を有している。なお、他の液晶ライトバルブ300G、300Bの光入射面側に設けられたフィールドレンズ234、230についても同様である。

【0037】第1のダイクロミックミラー202で反射された青色光Bと緑色光Gのうち、緑色光Gは第2のダイクロミックミラー204によって反射されて、色光分離光学系200からクロスダイクロックプリズム520へ向けて射出される。色光分離光学系200から射出された緑色光Gは、フィールドレンズ234を通過して緑色光用の液晶ライトバルブ300Gに達する。一方、第2のダイクロミックミラー204を透過した青色光Bは、色光分離光学系200から射出されて、リレー光学系220に入射する。

【0038】リレー光学系220に入射した青色光Bは、リレー光学系220に備えられた入射側レンズ222、リレーレンズ226および反射ミラー224、228および射出側レンズ(フィールドレンズ)230を通過して青色光用の液晶ライトバルブ300Bに達する。なお、青色光Bにリレー光学系220が用いられているの

は、青色光Bの光路の長さが他の色光R、Gの光路の長さよりも大きいためであり、リレー光学系220を用いることにより入射側レンズ222に入射した青色光Bをそのまま、射出側レンズ230に伝えることができる。

【0039】3つの液晶ライトバルブ300R、300G、300Bは、与えられた画像情報(画像信号)に従って、入射した3色の色光をそれぞれ変調して変調光線束を生成する。各液晶ライトバルブは、それぞれ、液晶パネルと、その光入射面側および光射出面側に配置された偏光板とを備えている。なお、液晶ライトバルブの詳細については、さらに、後述する。

【0040】クロスダイクロックプリズム520は、液晶ライトバルブ300R、300G、300Bを通過して変調された3色の色光(変調光線束)を合成してカラー画像を表す合成光を生成する。クロスダイクロックプリズム520には、赤色光反射膜521と青色光反射膜522とが、4つの直角プリズムの界面に略X字状に形成されている。赤色光反射膜521は、赤色光を選択して反射する誘電体多層膜によって形成されており、青色光反射膜522は、青色光を選択して反射する誘電体多層膜によって形成されている。これらの赤色光反射膜521と青色光反射膜522によって3つの色光が合成されて、カラー画像を表す合成光が生成される。

【0041】クロスダイクロックプリズム520で生成された合成光は、投写レンズ540の方向に射出される。投写レンズ540は、クロスダイクロックプリズム520から射出された合成光を投写して、スクリーンSC上にカラー画像を表示する。なお、投写レンズ540としてはテレセントリックレンズを用いることができる。

【0042】図4は、図1の液晶ライトバルブ300R、300G、300Bを拡大して示す説明図である。なお、図4では、図1の偏光発生光学系160からクロスダイクロックプリズム520に至るまでの概略の光学系が、偏光方向に注目して描かれている。

【0043】図2において説明したように、偏光発生光学系160はs偏光を射出する。s偏光は、前述したように2つのダイクロミックミラー202、204によって赤色光Rと緑色光Gと青色光Bとに分離される。ダイクロミックミラー202、204を通過する際には偏光方向は変化しないので、3色の光はs偏光のままである。

【0044】第1のダイクロミックミラー202で分離されたs偏光の赤色光Rは、反射ミラー208で反射され、第1の液晶ライトバルブ300Rに入射する。液晶ライトバルブ300Rは、液晶パネル301Rと、その光入射面側および光射出面側に設けられた2つの偏光板302Ri、302Roとを備えている。また、液晶パネル301Rの光射出面側には、 $\lambda/2$ 位相差板303Rが備えられている。第1および第2の偏光板302R

i, 302Roは、それぞれ第1および第2のガラス基板307R, 308Rに貼り付けられている。第1および第2の偏光板302Ri, 302Roの偏光軸は、互いに直交するように設けられており、第1の偏光板302Riはs偏光光を透過するs偏光透過用偏光板であり、第2の偏光板302Roはp偏光光を透過するp偏光透過用偏光板である。

【0045】第1の液晶ライトバルブ300Rに入射したs偏光の赤色光Rは、ガラス基板307Rとs偏光透過用偏光板302Riとをほぼそのまま透過して、液晶パネル301Rに入射する。液晶パネル301Rに入射したs偏光光の一部をp偏光光に変換し、光射出面側に配置されたp偏光透過用偏光板302Roからは、p偏光光のみが射出される。p偏光透過用偏光板302Roから射出されたp偏光光は、ガラス基板308Rを介して $\lambda/2$ 位相差板303Rに入射し、 $\lambda/2$ 位相差板303Rにおいてs偏光光に変換されて射出される。

【0046】第2のダイクロイックミラー204で分離されたs偏光の緑色光Gは、そのまま第2の液晶ライトバルブ300Gに入射する。第2の液晶ライトバルブ300Gは、液晶パネル301Gと、液晶パネル301Gの光入射面側に設けられたs偏光透過用偏光板302Giと、光射出面側に設けられたp偏光透過用偏光板302Goとを備えている。第1および第2の偏光板302Gi, 302Goは、それぞれガラス基板307G, 308Gに貼り付けられている。第2の液晶ライトバルブ300Gに入射するs偏光の緑色光Gは、ガラス基板307Gとs偏光透過用偏光板302Giとをほぼそのまま透過し、液晶パネル301Gに入射する。液晶パネル301Gは入射したs偏光光の一部をp偏光光に変換し、光射出面側に配置されたp偏光透過用偏光板302Goからは、p偏光光のみが射出される。p偏光透過用偏光板302Goから射出されたp偏光光はガラス基板308Gをほぼそのまま通過する。

【0047】第2のダイクロイックミラー204で分離されたs偏光の青色光Bは、2つの反射ミラー224, 228で反射され、第3の液晶ライトバルブ300Bに入射する。第3の液晶ライトバルブ300Bは、液晶パネル301Bと、2つの偏光板302Bi, 302Boと、 $\lambda/2$ 位相差板303Bと、第1の偏光板302Biが貼り付けられた第1のガラス基板307Bと、第2の偏光板302Boが貼り付けられた第2のガラス基板308Bとを備えている。なお、第3の液晶ライトバルブ300Bの構成は、第1の液晶ライトバルブ300Rの構成と同じである。

【0048】本実施例では3つの液晶ライトバルブ300R, 300G, 300Bの光入射面側にはすべてs偏光透過用偏光板302Ri, 302Gi, 302Biが設けられており、光射出面側にはすべてp偏光透過用偏光板302Ro, 302Go, 302Boが設けられて

いる。このとき、液晶パネル301R, 301G, 301Bの液晶の配向状態は同一に設定される。

【0049】また、本実施例において第1および第3の液晶ライトバルブ300R, 300Bから射出される光がs偏光光となり、第2の液晶ライトバルブ300Gから射出される光がp偏光光となるように、各液晶ライトバルブが構成されている。これは、クロスダイクロイックプリズム520の光の利用効率を高めるためである。すなわち、クロスダイクロイックプリズム520に形成された2つの反射膜521, 522の反射特性は、s偏光光の方がp偏光光よりも優れており、逆に、透過特性は、p偏光光の方がs偏光光よりも優れている。このため、2つの反射膜521, 522で反射すべき光をs偏光光とし、2つの反射膜521, 522を透過すべき光をp偏光光としている。

【0050】なお、本実施例の第1ないし第3の液晶ライトバルブ300R, 300G, 300Bは、本発明における第1ないし第3の電気光学装置に相当する。一般に、電気光学装置の語は、液晶パネルのみを示す狭義の電気光学装置を意味する場合もあるが、本明細書では、液晶パネルの他に偏光板や $\lambda/2$ 位相差板などを含む広義の電気光学装置を意味している。

【0051】ところで、本実施例において、図3に示す偏光発生光学系160の $\lambda/2$ 位相差層66bと、図4に示す第1および第3の液晶ライトバルブ300R, 300Bの光射出面側に設けられた $\lambda/2$ 位相差板303R, 303Gとは、水晶で形成されている。このように、水晶を用いても $\lambda/2$ 位相差板を形成することができる。ここで、水晶とは、 $\text{SiO}_2$ の単結晶を意味している。水晶としては、人工水晶を用いてもよいし、天然水晶を用いてもよい。

【0052】図5は、水晶の結晶構造を示す説明図である。水晶は、三方晶系の結晶であり、R面、r面、m面などの結晶面に囲まれている。また、図示するような関係で、水晶のX軸、Y軸、Z軸が決定されている。

【0053】なお、以下では、図4に示す第1の液晶ライトバルブ300Rの光射出面側に設けられた $\lambda/2$ 位相差板303Rを例に説明するが、第3の液晶ライトバルブ300Bの光射出面側に設けられた $\lambda/2$ 位相差板303Bや図3に示す偏光発生光学系160の $\lambda/2$ 位相差層66bについても同様である。

【0054】図6は、第1の液晶ライトバルブ300Rの光射出面側に設けられた $\lambda/2$ 位相差板303Rを拡大して示す説明図である。 $\lambda/2$ 位相差板303R（以下、「水晶基板」とも呼ぶ）は、図5に示す水晶のZ軸（すなわち、光学軸）が基板の表面Sに平行になるように、そして、基板の厚みdが所定の厚さになるように形成されている。この $\lambda/2$ 位相差板303Rは、図5に示す水晶を順次研磨してゆくことにより得られる。例えば、図5に示すY軸およびZ軸によって形成されるYZ

面に平行な面が、基板の表面Sとなるように研磨することにより、 $\lambda/2$ 位相差板303Rを得ることができる。なお、図6では、図示の便宜上、 $\lambda/2$ 位相差板303Rの厚みdは、かなり拡大して描かれている。

【0055】図6に示すように、 $\lambda/2$ 位相差板303Rには、p偏光透過用の第2の偏光板302Ro（図4）から射出されたp偏光光が入射する。 $\lambda/2$ 位相差板303Rは、入射するp偏光光（直線偏光光）の電界ベクトルの振動方向と水晶の光学軸（Z軸）との成す角が約45°となるように、光路上に配置されている。水晶基板303Rに入射したp偏光光は、水晶基板303R中で等しい振幅を有する常光線と異常光線とに別れ、\*

$$d = \frac{\lambda}{2(n_e - n_o)} \cdot (1 + 2m)$$

$$m = 0, 1, 2, 3 \dots$$

【0059】ここで、 $\lambda$ は入射する光の波長であり、mは0以上の整数である。また、 $n_o$ は常光線の屈折率（常光線屈折率）であり、 $n_e$ は異常光線の屈折率（異常光線屈折率）である。

【0060】なお、水晶の可視光に対する常光線屈折率は、波長 $\lambda$ が約404.7nm、約546.1nm、約656.3nmのとき、それぞれ約1.557、約1.546、約1.542である。同様に、異常光線屈折率は、波長 $\lambda$ が約404.7nm、約546.1nm、約656.3nmのとき、それぞれ約1.567、約1.555、約1.551である。

【0061】式（1）から分かるように、整数mの値が比較的小さい場合には、 $\lambda/2$ 位相差板303Rの厚みdは比較的小さくなる。この場合には、 $\lambda/2$ 位相差板303Rによって発生する位相差の波長依存性や、入射光の入射角依存性、温度依存性を小さくすることができるという利点がある。一方、整数mの値が比較的大きい場合には、 $\lambda/2$ 位相差板303Rの厚みdは比較的大きくなる。この場合には、 $\lambda/2$ 位相差板303Rによって発生する位相差の波長依存性が大きくなるので、波長選択性を高めることができるという利点があるとともに、 $\lambda/2$ 位相差板303Rの取り扱いが容易となるという利点がある。 $\lambda/2$ 位相差板303Rを、図4に示すように、独立して設ける場合には、厚みdを約300 $\mu$ m以上にするのが好ましい。しかしながら、 $\lambda/2$ 位相差板303Rを、図4のガラス基板308Rやクロスダイクロックプリズム520などの保持機能を有する保持部材に貼り付けて用いる場合には、厚みdをさらに小さくすることも可能である。

【0062】ところで、上記では、 $\lambda/2$ 位相差板303Rとして水晶を用いる場合について説明したが、水晶に代えて単結晶サファイアを用いるようにしてもよい。単結晶サファイアの熱伝導率は水晶の熱伝導率よりも大

\*異なる位相速度で水晶基板303R中を進む。

【0056】水晶基板303Rの厚みdは、常光線と異常光線との位相差がほぼ $\pi$ ずれるような厚み、換言すれば、 $1/2$ 波長分ずれるような厚みに設定されている。これにより、 $\lambda/2$ 位相差板303Rからは、入射したp偏光光（直線偏光光）の電界ベクトルの振動方向と直交する振動方向を有するs偏光光（直線偏光光）が射出される。

【0057】水晶基板303Rの厚みdは、次の式（1）に従って設定されている。

【0058】

【数1】

$$\dots\dots (1)$$

きい。このため、単結晶サファイアを用いる場合には、 $\lambda/2$ 位相差板303R自体の温度上昇をより低減させることができるという利点がある。一方、上記のように、水晶を用いる場合には、 $\lambda/2$ 位相差板を比較的容易に作製することができるという利点がある。これは、水晶（人工水晶）は、周知のオートクレーブと呼ばれる育成炉を用いて一度に大量に製造され、また、単結晶サファイアよりも硬度が低いため、所定形状とするための加工が容易だからである。なお、単結晶サファイアを用いる場合にも、単結晶サファイアの光学軸は、図6に示す水晶の光学軸（Z軸）と同様に設定される。

【0063】このように、単結晶サファイアや水晶を用いる場合には、熱伝導率が比較的高いため、 $\lambda/2$ 位相差板303R自体の温度上昇を低減させることができ、この結果、単結晶サファイアや水晶の光学特性の温度依存性を低減することができる。

【0064】なお、上記の水晶は、三方晶系の結晶であり、単結晶サファイアは、六方晶系の結晶である。このように、三方晶系や六方晶系、正方晶系の結晶などの光学軸を1つだけ有する一軸結晶を用いれば、上記のような $\lambda/2$ 位相差板303Rを作製することができる。一軸結晶としては、上記の水晶や単結晶サファイアの他に、三方晶系の方解石（ $\text{CaCO}_3$ ）や六方晶系の硫化カドミウム（ $\text{CdS}$ ）などを用いることも可能である。なお、式（1）は、水晶のような $n_o > n_e$ となる正結晶の場合の式であり、方解石のような $n_o > n_e$ となる負結晶の場合には、式（1）の $n_o$ と $n_e$ とを入れ替えた式を用いなければならない。

【0065】また、 $\lambda/2$ 位相差板303Rとしては、雲母などの二軸結晶を用いることも可能である。雲母については、二軸結晶であるが、実用上は一軸結晶として取り扱うことができる。なお、二軸結晶とは、三斜晶系や単斜晶系、斜方晶系などの光学軸を2つ有する結晶を

意味している。

【0066】一般に、位相差板としては、一軸結晶や二軸結晶などの複屈折を生じさせるような複屈折性結晶を用いることができる。なお、一軸結晶を用いる場合の方が、所望の光学特性を発揮する位相差板を容易に設計することができるという利点がある。

【0067】以上、説明したように、本実施例のプロジェクト1000では、照明光学系100は、所定の偏光光を射出する偏光発生光学系160を備えており、偏光発生光学系160は、入射する光を2種類の偏光光に分離するための偏光ビームスプリッタレイ64と、偏光ビームスプリッタレイ64から射出される2種類の偏光光のうち的一方を他方に揃えるためのλ/2位相差層66bとを備えている。また、本実施例の第1および第3の液晶ライトバルブ300R、300Bは、その光射出面側にλ/2位相差板303R、303Bを備えている。このようなλ/2位相差層66bやλ/2位相差板303R、303Bとして、水晶などの複屈折性結晶で形成された位相差層を用いれば、従来の位相差フィルムを用いる場合と比べて、位相差層の発熱による光学特性の劣化をかなり低減させることができるとともに、位相差層の耐久性を向上させることが可能となる。

【0068】B. 第2実施例：図7は、第2実施例における液晶ライトバルブ300Ra、300Ga、300Baを拡大して示す説明図である。本実施例の液晶ライトバルブ300Ra、300Ga、300Baは、第1実施例（図4）の液晶ライトバルブ300R、300G、300Bとほぼ同じ構成を有しているが、第1および第3の液晶ライトバルブ300Ra、300Baの光射出面側の構成が変更されている。

【0069】具体的には、第1実施例（図4）においては、第1の液晶ライトバルブ300Rの光射出面側の偏光板302Roはガラス基板308R上に設けられており、λ/2位相差板303Rは独立して設けられているが、本実施例においては、光射出面側の偏光板302Roはλ/2位相差板303R上に設けられている。なお、第3の液晶ライトバルブ300Baの光射出面側についても同様である。

【0070】本実施例のように、λ/2位相差板303R上に偏光板302Roが設けられている場合には、λ/2位相差板303Rが偏光板302Roを保持することができるので、図4に示す偏光板302Roを保持するためのガラス基板308Rを省略することが可能となる。

$$d = \frac{\lambda}{4(n_e - n_o)} \cdot (1 + 4m) \\ m = 0, 1, 2, 3 \dots$$

\* 【0071】ところで、偏光板302Roは、液晶パネル301Rから射出された変調光が入射する際、所定の偏光成分（p偏光）以外の光成分を運るため、発熱する。このような発熱は、偏光板の光学特性を劣化させる原因となるので、偏光板の温度はできるだけ低くすることが好ましい。単結晶サファイアや水晶などは、ガラスよりも熱伝導率が高い。したがって、λ/2位相差板303Rとして、単結晶サファイアや水晶で形成された基板を用いれば、ガラス基板308Rを用いる場合より、偏光板302Roの発熱による温度上昇をかなり低減させることが可能となる。

【0072】なお、水晶の熱伝導率は、Z軸に平行な方向と垂直な方向とで異なっている。すなわち、水晶の熱伝導率は、Z軸に平行な方向で約9.3 (W/(m・k))であり、Z軸に垂直な方向で約5.4 (W/(m・k))である。このように、水晶は、Z軸に平行な方向の熱伝導率の方が大きくなっているため、本実施例のように、水晶のZ軸が基板の表面とほぼ平行に設定された水晶基板303Rを用いる場合には、偏光板302Roの温度上昇を効率よく低減させることができることに、偏光板302Roの面内温度分布をより均一にすることができるといえる利点がある。

【0073】C. 第3実施例：図8は、第3実施例における液晶ライトバルブ300Rb、300Gb、300Bbを拡大して示す説明図である。本実施例の液晶ライトバルブ300Rb、300Gb、300Bbは、第2実施例（図7）の液晶ライトバルブ300Ra、300Ga、300Baとほぼ同じ構成を有しているが、第1および第3の液晶ライトバルブ300Rb、300Bbの光射出面側の構成が変更されている。

【0074】具体的には、第2実施例（図7）においては、第1の液晶ライトバルブ300Raの光射出面側の偏光板302Roは、λ/2位相差板303R上に設けられているが、本実施例においては、光射出面側の偏光板302Roは、第1のλ/4位相差板303R1上に設けられている。そして、クロスダイクロイックプリズム520の光入射面には第2のλ/4位相差板303R2が設けられている。

【0075】λ/4位相差板303R1、303R2としての水晶基板の厚みdは、例えば、次の式（2）に従って設定されている。

【0076】

【数2】

$$\dots\dots (2)$$

【0077】なお、2つのλ/4位相差板303R1、303R2を用いる場合にも、第1および第2のλ/4



位相差板303R1、303R2の光学軸は、図6に示す水晶の光学軸(2軸)と同様に設定されたい。このとき、第1の $\lambda/4$ 位相差板303R1に入射したp偏光(直線偏光)は、円偏光に変換されて射出され、第2の $\lambda/4$ 位相差板303R2に入射した円偏光は、s偏光(直線偏光)に変換されて射出されることとなる。

【0078】このように、図7の $\lambda/2$ 位相差板303Rは、2つの $\lambda/4$ 位相差板303R1、303R2と置き換えることができる。なお、第3の液晶ライトバルブ300Bbの光射出面側についても同様である。

【0079】本実施例のように、2つの $\lambda/4$ 位相差板303R1、303R2を $\lambda/2$ 位相差板として用いても、第2実施例と同様の効果を奏する。すなわち、第1実施例において光射出側の偏光板302Rを保持するためのガラス基板308Rを省略することができるとともに、偏光板302Rの発熱による温度上昇をかなり低減させることが可能となる。

【0080】なお、この発明は上記の実施例や実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば次のような変形も可能である。

【0081】(1) 上記の第1実施例(図4)では、第1の液晶ライトバルブ300Rの光射出面側に $\lambda/2$ 位相差板303Rが設けられているが、 $\lambda/2$ 位相差板303Rは、液晶ライトバルブの光入射面側に設けられていてもよい。この場合には、第1の液晶ライトバルブに入射するs偏光が、 $\lambda/2$ 位相差板、p偏光透過用偏光板、液晶パネル、s偏光透過用偏光板の順に通過するように、液晶ライトバルブが構成されていけばよい。このとき、液晶ライトバルブに入射するs偏光は、 $\lambda/2$ 位相差板に入射してp偏光に変換される。p偏光は、p偏光透過用偏光板をほぼそのまま通過して、液晶パネルで変調される。液晶パネルは入射したp偏光の一部をs偏光に変換し、光射出面側に配置されたs偏光透過用偏光板からは、s偏光のみが射出される。

【0082】なお、この場合にも、液晶ライトバルブの光入射面側に設けられたp偏光透過用偏光板は、第2実施例と同様に、 $\lambda/2$ 位相差板上に設けられているようにしてもよい。また、第3実施例と同様に、 $\lambda/2$ 位相差板に代えて2つの $\lambda/4$ 位相差板を用いるようにしてもよい。

【0083】このように、一般に、液晶ライトバルブは、その光入射面側と光射出面側のうちの少なくとも一方に、水晶などの複屈折性結晶で形成された位相差層を備えていけばよい。

【0084】(2) 上記実施例では、図2に示すように、偏光発生光学系160として、複数の偏光分離膜64aを含む偏光ビームスプリッタアレイ64が用いられているが、これに代えて、偏光分離膜を1つのみ含む偏

光ビームスプリッタを用いるようにしてもよい。なお、この場合にも、偏光ビームスプリッタのp偏光の射出面とs偏光の射出面とのうちのいずれか一方に、水晶などの複屈折性結晶で形成された $\lambda/2$ 位相差板が設けられることとなる。

【0085】一般に、偏光発生部は、入射する光を2種類の偏光に分離するための偏光分離部と、偏光分離部から射出される2種類の偏光のうちの一方を他方に揃えるための位相差層とを備えていけばよい。

【0086】(3) 上記実施例では、図3に示す偏光発生光学系160の $\lambda/2$ 位相差層66bと、図4に示す第1および第3の液晶ライトバルブ300R、300Bの光射出面側に設けられた $\lambda/2$ 位相差板303R、303Gとに、水晶などの複屈折性結晶で形成された位相差板が用いられている場合について説明したが、プロジェクト1000(図1)の他の部分に複屈折性結晶で形成された位相差板が用いられていてもよい。

【0087】一般に、本発明のプロジェクトとしては、照明光学系と投写光学系を含む光路中に、入射する光の偏光状態を変更して射出するための位相差層を備えており、この位相差層が、複屈折性結晶で形成されているようなものであればよい。

【0088】(4) 上記実施例では、透過型のプロジェクトに本発明を適用した場合を例に説明しているが、本発明は反射型のプロジェクトにも適用することが可能である。ここで、「透過型」とは、透過型液晶パネルのように光変調手段としての電気光学装置が光を透過するタイプであることを意味しており、「反射型」とは、反射型液晶パネルのように光変調手段としての電気光学装置が光を反射するタイプであることを意味している。反射型のプロジェクトにこの発明を適用した場合にも、透過型のプロジェクトとほぼ同様の効果を得ることができる。

【0089】(5) 上記実施例では、プロジェクト1000は、電気光学装置として液晶パネルを備えているが、これに代えて、マイクロミラー型光変調装置を備えるようにしてもよい。マイクロミラー型光変調装置としては、例えば、DMD(デジタルマイクロミラーデバイス)(TI社の商標)を用いることができる。電気光学装置としては、一般に、入射光を画像情報に応じて変調するものであればよい。

【0090】(6) 上記実施例においては、カラー画像を表示するプロジェクト1000を例に説明しているが、モノクロ画像を表示するプロジェクトにおいても同様である。

【図面の簡単な説明】

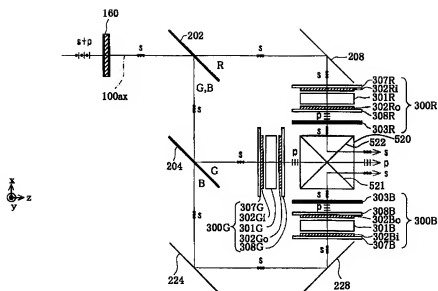
【図1】本発明を適用したプロジェクトを示す説明図である。

【図2】図1の照明光学系100を拡大して示す説明図である。

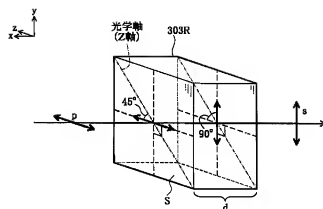




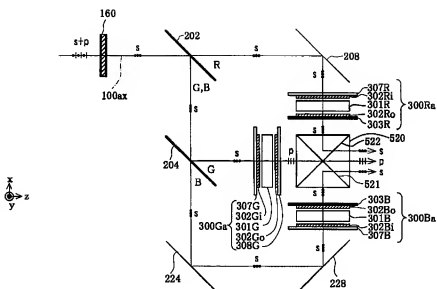
【図4】



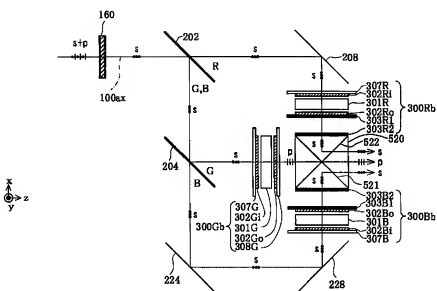
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H04N 9/31

識別記号

F I

H04N 9/31

テーマコード(参考)

C

(72)発明者 加藤 久磨

長野県諏訪市大和三丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

F ターム(参考) 2H049 BA05 BA06 BA42 BA43 BB02  
BC10 BC22  
2H091 FA05Z FA08X FA08Z FA11X  
FA12X FA14Z FB06 GA01  
LA04 MA07  
2H099 AA12 BA09 CA02 CA08 DA05  
5C060 BA04 BA08 BC05 EA00 GA01  
GB02 GB06 HCO0 HCO1 HC24  
HC25 JA00

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-031782

(43)Date of publication of application : 31.01.2002

---

(51)Int.Cl. G02B 27/28

G02B 5/30

G02F 1/13363

G03B 21/00

G03B 33/12

H04N 9/31

---

(21)Application number : 2000-217427 (71)Applicant : SEIKO EPSON CORP

(22)Date of filing : 18.07.2000 (72)Inventor : TAKEZAWA TAKESHI

HASHIZUME TOSHIKI

KATO HISAMARO

---

(54) PROJECTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a technique which can lessen the deterioration in the optical characteristics of a phase difference layer used for a projector.

SOLUTION: This projector has an illumination optical system which emits illumination light, an electro-optic device which modulates the light from the illumination optical system according to image information and a projection optical system which projects the modulated ray flux obtained by the electro-optic device. The phase difference layer for changing the polarization state of the incident light and emitting this light is disposed in an optical path including the illumination optical system and the projection optical system. The phase



difference layer is formed of a birefringent crystal, such as single crystal sapphire or quartz crystal.

-----  
LEGAL STATUS [Date of request for examination] 22.12.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The illumination-light study system which injects the illumination light, and the electro-optic device which modulates the light from said illumination-light study system according to image information, In the optical path which is equipped with the projection optical system which projects the modulation bundle of rays acquired with said electro-optic device, and includes said illumination-light study system and said projection optical system It is the projector which it has the phase contrast layer for changing the polarization condition of the light which carries out incidence, and injecting, and is characterized by forming said phase contrast layer as a birefringence crystal.

[Claim 2] It is the projector said whose birefringence crystal it is a projector according to claim 1, and is a uniaxial crystal.

[Claim 3] It is the projector said whose uniaxial crystal it is a projector according to claim 2, and is single crystal sapphire or Xtal.

[Claim 4] It is the projector equipped with said phase contrast layer for said polarization generating section to arrange with another side one side of two kinds of polarization light injected from the polarization separation section and said polarization separation section for dividing into two kinds of polarization light the light which carries out incidence by being a projector according to claim 1 to 3, and equipping said illumination-light study system with the polarization generating section which injects a predetermined polarization light.

[Claim 5] It is the projector to which it is a projector according to claim 1 to 3, and said electro-optic device equips at least one side of the inside by the side of the optical plane of incidence and an irradiation labor attendant with said phase contrast layer.

[Claim 6] It is the projector by which said polarizing plate is prepared on said phase contrast layer with which at least one side of the inside by the side of the optical plane of incidence of said electro-optic device and an irradiation labor attendant was equipped by being a projector according to claim 5 and equipping said electro-optic device with the polarizing plate.

[Claim 7] The illumination-light study system which is a projector for indicating the color picture by projection, and injects the illumination light, The colored light separation optical system which divides said illumination light injected from said illumination-light study system into the 1st thru/or the 3rd colored light which has

three color components, respectively, The 1st thru/or the 3rd colored light separated according to said colored light separation optical system is modulated according to image information. The 1st thru/or the 3rd electro-optic device which generates the 1st thru/or 3rd modulation bundle of rays, The color composition optical system which compounds said 1st thru/or 3rd modulation bundle of rays, and the projection optical system which projects a synthetic light injected from said color composition optical system, It is the projector which it has the phase contrast layer for changing the polarization condition of the light which carries out incidence, and injecting into the optical path including a preparation, said illumination-light study system, and said projection optical system, and is characterized by forming said phase contrast layer as a birefringence crystal.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the projector which indicates the image by projection.

[0002]

[Description of the Prior Art] In the projector, image display is realized by modulating the light injected from the illumination-light study system according to image information (picture signal) using a liquid crystal light valve etc., and projecting the modulated light on a screen.

[0003] In the projector using a liquid crystal light valve, incidence of the predetermined linearly polarized light is usually carried out to a liquid crystal light valve. And in order to carry out incidence of the light without the bias injected from the light source to a liquid crystal light valve efficiently, the illumination-light study system is equipped with the polarization generating section for changing into a predetermined linearly polarized light without the bias injected from the light source, and injecting it.

[0004] The polarization generating section is equipped with the phase contrast layer for arranging with the linearly polarized light of another side one side of two kinds of linearly polarized light injected from the polarization separation section and the polarization separation section for dividing into two kinds of linearly polarized light without the bias which carries out incidence.

[0005] In the former, the phase contrast film of organic material systems, such as a phase contrast film which put the polyvinyl alcohol (PVA) film with the triacetyl

cellulose (TAC) film, was used as a phase contrast layer.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, when the phase contrast film of the above organic material systems was used, and light passed a phase contrast film, the phase contrast film generated heat, consequently there was a problem that the optical property of a phase contrast film will deteriorate.

[0007] This invention is made in order to solve the above-mentioned technical problem in the conventional technique, and it aims at offering the technique in which degradation of the optical property of the phase contrast layer used for a projector can be reduced.

[0008]

[The means for solving a technical problem, and its operation and effectiveness]

In order to solve a part of above-mentioned technical problem [ at least ], the 1st equipment of this invention The illumination-light study system which is a projector and injects the illumination light, and the electro-optic device which modulates the light from said illumination-light study system according to image information, In the optical path which is equipped with the projection optical system which projects the modulation bundle of rays acquired with said electro-optic device, and includes said illumination-light study system and said projection optical system It has the phase contrast layer for changing the

polarization condition of the light which carries out incidence, and injecting, and said phase contrast layer is characterized by being formed as a birefringence crystal.

[0009] With the 1st equipment of this invention, since the phase contrast layer formed as a birefringence crystal is used as a phase contrast layer which it had into the optical path including an illumination-light study system and projection optical system, it becomes possible to reduce degradation of the optical property of a phase contrast layer.

[0010] As for said birefringence crystal, in above equipment, it is desirable that it is a uniaxial crystal.

[0011] Thus, if a uniaxial crystal is used, it will become possible to design easily the phase contrast layer which demonstrates a desired optical property.

[0012] Moreover, you may make it said uniaxial crystal be single crystal sapphire or Xtal in above equipment.

[0013] Since single crystal sapphire and Xtal have comparatively high thermal conductivity, they become possible [ being able to reduce the temperature rise of the phase contrast layer itself, consequently reducing the temperature dependence of the optical property of single crystal sapphire or Xtal ].

[0014] Said illumination-light study system is equipped with the polarization generating section which injects a predetermined polarization light, and you may

make it said polarization generating section equipped with said phase-contrast layer for arranging with another side one side of two kinds of polarization light injected from the polarization separation section and said polarization separation section for dividing into two kinds of polarization light the light which carries out incidence in above equipment.

[0015] Or you may make it said electro-optic device equip at least one side of the inside by the side of the optical plane of incidence and an irradiation labor attendant with said phase contrast layer in above equipment.

[0016] If it carries out like this, degradation of the optical property of the phase contrast layer used in the polarization generating section, an electro-optic device, etc. can be reduced.

[0017] Moreover, in above equipment, said electro-optic device is equipped with the polarizing plate, and said polarizing plate may be made to be prepared on said phase contrast layer with which at least one side of the inside by the side of the optical plane of incidence of said electro-optic device and an irradiation labor attendant was equipped.

[0018] If it carries out like this, a phase contrast layer can reduce the temperature rise of a polarizing plate by emitting generation of heat of a polarizing plate, while functioning as a maintenance substrate holding a polarizing plate.



[0019] The illumination-light study system which the 2nd equipment of this invention is a projector for indicating the color picture by projection, and injects the illumination light, The colored light separation optical system which divides said illumination light injected from said illumination-light study system into the 1st thru/or the 3rd colored light which has three color components, respectively, The 1st thru/or the 3rd colored light separated according to said colored light separation optical system is modulated according to image information. The 1st thru/or the 3rd electro-optic device which generates the 1st thru/or 3rd modulation bundle of rays, The color composition optical system which compounds said 1st thru/or 3rd modulation bundle of rays, and the projection optical system which projects a synthetic light injected from said color composition optical system, Into the optical path including a preparation, said illumination-light study system, and said projection optical system, it has the phase contrast layer for changing the polarization condition of the light which carries out incidence, and injecting, and said phase contrast layer is characterized by being formed as a birefringence crystal.

[0020] It becomes possible, although the same operation and effectiveness as the 1st equipment are done so and degradation of the optical property of a phase contrast layer is reduced also with the 2nd equipment of this invention, since the phase contrast layer is formed as a birefringence crystal.

[0021]

[Embodiment of the Invention] A. The 1st example : explain the gestalt of operation of this invention based on an example. Drawing 1 is the explanatory view showing the projector which applied this invention. The projector 1000 is equipped with the illumination-light study system 100 containing light equipment 120, the colored light separation optical system 200, the relay optical system 220, three liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B, cross dichroic prisms 520, and projection lenses 540.

[0022] the light injected from the illumination-light study system 100 ( drawing 1 ) -- the colored light separation optical system 200 -- setting -- red (R) -- green -- it separates into the colored light of (G) and three blue (B) colors. Each separated colored light is modulated according to image information in the liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B. Each modulated colored light is compounded with the cross dichroic prism 520, and a projection indication of the color picture is given on Screen SC with the projection lens 540.

[0023] Drawing 2 is the explanatory view expanding and showing the illumination-light study system 100 of drawing 1 . This illumination-light study system 100 is equipped with light equipment 120, the 1st and 2nd lens arrays 140,150, the polarization generating optical system 160, and the superposition lens 170. The light equipment 120, 1st, and 2nd lens arrays 140,150 are

arranged on the basis of light source optical-axis 120ax, and the polarization generating optical system 160 and the superposition lens 170 are arranged on the basis of system optical-axis 100ax. Light source optical-axis 120ax is a medial axis of a bundle of rays injected from light equipment 120, and system optical-axis 100ax is a medial axis of a bundle of rays injected from a latter optical element from the polarization generating optical system 160. Only the amount  $D_p$  of gaps predetermined in system optical-axis 100ax and light source optical-axis 120ax to x directions is mostly shifted to parallel so that it may illustrate. About this amount  $D_p$  of gaps, it mentions later. In addition, the lighting field LA which the illumination-light study system 100 illuminates in drawing 2 corresponds to the liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B of drawing 1 .

[0024] light equipment 120 -- abbreviation -- it has the function to inject an parallel bundle of rays. Light equipment 120 is equipped with the arc tube 122, and the reflector 124 and the parallel-ized lens 126 which have the concave surface of an ellipsoid-of-revolution configuration. The light injected from the arc tube 122 is reflected by the reflector 124, and the reflected light is changed into a light almost parallel to light source optical-axis 120ax by the parallel-ized lens 126. In addition, as light equipment, the reflector which has the concave surface of a rotating paraboloidal shape may be used.

[0025] The 1st lens array 140 has two or more small lenses 142 arranged in the

shape of a matrix. Each smallness lens 142 is a plano-convex lens, and the appearance configuration when seeing from z is set up so that it may become the lighting field LA (liquid crystal light valve) and an analog. abbreviation by which the 1st lens array 140 was injected from light equipment 120 -- an parallel bundle of rays is divided and injected to two or more partial bundle of rayses.

[0026] The 2nd lens array 150 has two or more small lenses 152 arranged in the shape of a matrix, and the same thing as the 1st lens array 140 is used. The 2nd lens array 150 has the function to which image formation of the image of each smallness lens 142 of the 1st lens array 140 is carried out on the lighting field LA while having the function to arrange mostly with parallel each medial axis of the partial bundle of rays injected from the 1st lens array 140 with system optical-axis 100ax.

[0027] The partial bundle of rays injected from each smallness lens 142 of the 1st lens array 140 is condensed in the near location 160, i.e., polarization generating optical system, through the 2nd lens array 150 so that it may illustrate.

[0028] Drawing 3 is the explanatory view showing the polarization generating optical system 160. Drawing 3 (A) shows the perspective view of the polarization generating optical system 160, and drawing 3 (B) shows some top views when seeing from +y. The polarization generating optical system 160 is equipped with the gobo 62, the polarization beam splitter array 64, and the selection phase

contrast plate 66. In addition, the polarization generating optical system 160 is equivalent to the polarization generating section in this invention.

[0029] As shown in drawing 3 (A), column-like glass material 64c which has the cross section of an abbreviation parallelogram sticks two or more polarization beam splitter arrays 64, they are put together, and are constituted. Polarization demarcation membrane 64a and reflective film 64b are formed in the interface of each glass material 64c by turns. In addition, a dielectric multilayer is used as polarization demarcation membrane 64a, and a dielectric multilayer and a metal membrane are used as reflective film 64b.

[0030] Face shield 62b and effective area 62a are arranged in the shape of a stripe, and the gobo 62 is constituted. A gobo 62 interrupts the bundle of rays which carries out incidence to face shield 62b, and has the function to pass the bundle of rays which carries out incidence to effective area 62a. Face shield 62b and effective area 62a are arranged so that the partial pencil of light rays injected from the 1st lens array 140 ( drawing 2 ) may carry out incidence only to polarization demarcation membrane 64a of the polarization beam splitter array 64 and may not carry out incidence to reflective film 64b. As shown in drawing 3 (B), specifically, the core of effective area 62a of a gobo 62 is arranged so that it may be mostly in agreement with the core of polarization demarcation membrane 64a of the polarization beam splitter array 64. Moreover, the aperture

width  $W_p$  of the x directions of effective area 62a is set up almost equally to the magnitude of the x directions of polarization demarcation membrane 64a. At this time, incidence of the bundle of rays which passed effective area 62a of a gobo 62 will be carried out only to polarization demarcation membrane 64a, and it will not carry out incidence to reflective film 64b. In addition, as a gobo 62, what formed selectively the film (for example, the chromium film, the aluminum film, a dielectric multilayer, etc.) of protection-from-light nature can be used for the plate-like transparent body (for example, glass plate). Moreover, what prepared opening may be used for the plate of protection-from-light nature like an aluminum plate.

[0031] As a continuous line shows to drawing 3 (B), the chief ray (medial axis) carries out incidence of each partial bundle of rays injected from the 1st lens array 140 ( drawing 2 ) to parallel mostly at system optical-axis 100ax at effective area 62a of a gobo 62. Incidence of the partial bundle of rays which passed effective area 62a is carried out to polarization demarcation membrane 64a. Polarization demarcation membrane 64a divides into the partial bundle of rays of s-polarized light, and the partial bundle of rays of p-polarized light the partial bundle of rays which carried out incidence. At this time, the partial bundle of rays of p-polarized light penetrates polarization demarcation membrane 64a, and the partial bundle of rays of s-polarized light is reflected by polarization demarcation

membrane 64a. The partial bundle of rays of s-polarized light reflected by polarization demarcation membrane 64a is further reflected in reflective film 64b toward reflective film 64b. At this time, the partial bundle of rays of the p-polarized light which penetrated polarization demarcation membrane 64a, and the partial bundle of rays of s-polarized light reflected by reflective film 64b are parallel mostly mutually.

[0032] The selection phase contrast plate 66 is constituted by opening layer 66a, and  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b. Opening layer 66a has the function which penetrates the linearly polarized light which carries out incidence as it is. On the other hand,  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b has the function as a polarization sensing element to change the linearly polarized light which carries out incidence into the linearly polarized light and the polarization direction cross at right angles. In this example, as shown in drawing 3 (B), incidence of the partial bundle of rays of the p-polarized light which penetrated polarization demarcation membrane 64a is carried out to  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b. Therefore, in  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b, the partial bundle of rays of p-polarized light is changed into the partial bundle of rays of s-polarized light, and is injected. On the other hand, since incidence is carried out to opening layer 66a, the partial bundle of rays of s-polarized light reflected by reflective film 64b is injected with the partial bundle of rays of

s-polarized light. That is, the partial bundle of rays without the bias which carried out incidence to the polarization generating optical system 160 will be changed into the partial bundle of rays of s-polarized light, and will be injected. In addition, the partial bundle of rays which carries out incidence to the polarization generating optical system 160 can also be changed and injected to the partial bundle of rays of p-polarized light by arranging  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b only to the injection side of the partial bundle of rays of s-polarized light reflected by reflective film 64b. It seems that nothing is prepared in the part of opening layer 66a, but  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b may only be stuck on the injection side of the partial bundle of rays of p-polarized light, or the partial bundle of rays of s-polarized light as a selection phase contrast plate 66.

[0033] The core of two s-polarized light light injected from the polarization generating optical system 160 has shifted in the +x direction rather than the core of light (s-polarized light light + p-polarized light light) without the bias which carries out incidence so that drawing 3 (B) may show. This amount of gaps is equal to the one half of the width of face  $W_p$  (namely, magnitude of the x directions of polarization demarcation membrane 64a) of  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b. For this reason, as shown in drawing 2, only the distance  $D_p$  with light source optical-axis 120ax and system optical-axis 100ax equal to  $W_p/2$  has shifted.



[0034] As mentioned above, two or more partial bundle of rayes injected from the 1st lens array 140 are changed into about one kind of linearly polarized light to which the polarization direction was equal, respectively while being separated into two partial bundle of rayes by the polarization generating optical system 160 for every partial bundle of rays. Two or more partial bundle of rayes to which the polarization direction was equal will be superimposed on the lighting field LA with the superposition lens 170 shown in drawing 2 . At this time, the luminous-intensity distribution which irradiates the lighting field LA serves as homogeneity mostly.

[0035] The illumination-light study system 100 ( drawing 1 ) injects the illumination light (s-polarized light light) to which the polarization direction was equal, and illuminates the liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B through the colored light separation optical system 200 or the relay optical system 220.

[0036] The colored light separation optical system 200 is equipped with two dichroic mirrors 202,204 and the reflective mirrors 208, and has the function to divide into the colored light of three colors of red, green, and blue the bundle of rays injected from the illumination-light study system 100. The 1st dichroic mirror 202 reflects a blue glow component and a green light component while making a part for red Mitsunari of the light injected from the illumination-light study system

100 penetrate. It is reflected by the reflective mirror 208 and the red light R which penetrated the 1st dichroic mirror 202 is injected towards the cross dichroic prism 520. The red light R injected from the colored light separation optical system 200 reaches liquid crystal light valve 300R for red light through the field lens 232. This field lens 232 has the function to change into a parallel bundle of rays each partial bundle of rays injected from the illumination-light study system 100 to that medial axis. In addition, the same is said of the field lens 234, 230 prepared in the optical plane-of-incidence side of other liquid crystal light valves 300G and 300B.

[0037] Among the blue glow B reflected with the 1st dichroic mirror 202, and green light G, it is reflected by the 2nd dichroic mirror 204 and green light G is injected towards the cross dichroic prism 520 from the colored light separation optical system 200. The green light G injected from the colored light separation optical system 200 amounts to liquid crystal light valve 300G for green light through the field lens 234. On the other hand, the blue glow B which penetrated the 2nd dichroic mirror 204 is injected from the colored light separation optical system 200, and carries out incidence to the relay optical system 220.

[0038] The blue glow B which carried out incidence to the relay optical system 220 reaches liquid crystal light valve 300B for blue glow through the incidence side lens 222 with which the relay optical system 220 was equipped, a relay lens

226, the reflective mirror 224,228, and the injection side lens (field lens) 230. In addition, the relay optical system 220 is used for blue glow B because the die length of the optical path of blue glow B is larger than the die length of the optical path of other colored light R and G, and it can tell the blue glow B which carried out incidence to the incidence side lens 222 to the injection side lens 230 as it is by using the relay optical system 220.

[0039] Three liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B modulate the colored light of three colors which carried out incidence according to the given image information (picture signal), respectively, and generate a modulation bundle of rays. Each liquid crystal light valve is equipped with the liquid crystal panel and the polarizing plate arranged at the optical plane-of-incidence and irradiation labor attendant side, respectively. In addition, about the detail of a liquid crystal light valve, it mentions later further.

[0040] The cross dichroic prism 520 generates a synthetic light which compounds the colored light (modulation bundle of rays) of three colors modulated through the liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B, and expresses a color picture. The red light reflex film 521 and the blue glow reflective film 522 are formed in the interface of four rectangular prisms in the shape of an abbreviation X character at the cross dichroic prism 520. The red light reflex film 521 is formed of the dielectric multilayer which chooses red light

and is reflected, and the blue glow reflective film 522 is formed of the dielectric multilayer which chooses blue glow and is reflected. Three colored light is compounded with these red light reflex film 521 and the blue glow reflective film 522, and a synthetic light showing a color picture is generated.

[0041] A synthetic light generated with the cross dichroic prism 520 is injected in the direction of the projection lens 540. The projection lens 540 projects a synthetic light injected from the cross dichroic prism 520, and displays a color picture on Screen SC. In addition, a tele cent rucksack lens can be used as a projection lens 540.

[0042] Drawing 4 is the explanatory view expanding and showing the liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B of drawing 1 . In addition, in drawing 4 , the optical system of an outline until it results [ from the polarization generating optical system 160 of drawing 1 ] in the cross dichroic prism 520 is drawn paying attention to the polarization direction.

[0043] As explained in drawing 2 , the polarization generating optical system 160 injects s-polarized light light. S-polarized light light is separated into the red light R, green light G, and blue glow B by two dichroic mirrors 202,204 as mentioned above. Since the polarization direction does not change in case a dichroic mirror 202,204 is passed, the light of three colors is still s-polarized light light.

[0044] It is reflected by the reflective mirror 208 and incidence of the red light R

of the s-polarized light separated with the 1st dichroic mirror 202 is carried out to 1st liquid crystal light valve 300R. Liquid crystal light valve 300R is equipped with two polarizing plate 302Ri(s) prepared in liquid crystal panel 301R and an optical plane-of-incidence and irradiation labor attendant side, and 302Ro. Moreover, the irradiation labor attendant side of liquid crystal panel 301R is equipped with  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R. 1st and 2nd polarizing plate 302Ri(s) and 302Ro are stuck on the 1st and 2nd glass substrates 307R and 308R, respectively. 1st and 2nd polarizing plate 302Ri(s) and the polarization shaft of 302Ro are established so that it may intersect perpendicularly mutually, 1st polarizing plate 302Ri is a polarizing plate for s-polarized light transparency which penetrates s-polarized light light, and 2nd polarizing plate 302Ro is a polarizing plate for p-polarized light transparency which penetrates p-polarized light light.

[0045] the red light R of the s-polarized light which carried out incidence to 1st liquid crystal light valve 300R -- glass substrate 307R and the object for s-polarized light transparency -- polarizing plate 302Ri is penetrated almost as it is, and incidence is carried out to liquid crystal panel 301R. the object for p-polarized light transparency which liquid crystal panel 301R changed into p-polarized light light a part of s-polarized light light which carried out incidence, and has been arranged at the irradiation labor attendant side -- only p-polarized

light light is injected from polarizing plate 302Ro. the object for p-polarized light transparency -- incidence of the p-polarized light light injected from polarizing plate 302Ro is carried out to  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R through glass substrate 308R, and in  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R, it is changed into s-polarized light light, and is injected.

[0046] Incidence of the green light G of the s-polarized light separated with the 2nd dichroic mirror 204 is carried out to the 2nd liquid crystal light valve 300G as it is. the object for s-polarized light transparency by which the 2nd liquid crystal light valve 300G was prepared in the optical plane-of-incidence side of liquid crystal panel 301G and liquid crystal panel 301G -- polarizing plate 302Gi and the object for p-polarized light transparency prepared in the irradiation labor attendant side -- it has polarizing plate 302Go. 1st and 2nd polarizing plate 302Gi(s) and 302Go are stuck on glass substrates 307G and 308G, respectively. the green light G of the s-polarized light which carries out incidence to the 2nd liquid crystal light valve 300G -- glass substrate 307G and the object for s-polarized light transparency -- polarizing plate 302Gi is penetrated almost as it is, and incidence is carried out to liquid crystal panel 301G. the object for p-polarized light transparency which liquid crystal panel 301G changed into p-polarized light light a part of s-polarized light light which carried out incidence, and has been arranged at the irradiation labor attendant side -- only p-polarized

light light is injected from polarizing plate 302Go. the object for p-polarized light transparency -- the p-polarized light light injected from polarizing plate 302Go passes glass substrate 308G almost as they are.

[0047] It is reflected by two reflective mirrors 224,228, and incidence of the blue glow B of the s-polarized light separated with the 2nd dichroic mirror 204 is carried out to 3rd liquid crystal light valve 300B. 3rd liquid crystal light valve 300B is equipped with 1st glass substrate 307B on which liquid crystal panel 301B, two polarizing plate 302Bi(s) and 302Bo,  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303B, and 1st polarizing plate 302Bi were stuck, and 2nd glass substrate 308B on which 2nd polarizing plate 302Bi was stuck. In addition, the configuration of 3rd liquid crystal light valve 300B is the same as the configuration of 1st liquid crystal light valve 300R.

[0048] this example -- the optical three plane-of-incidence side of the liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B -- all -- the object for s-polarized light transparency -- polarizing plate 302Ri, 302Gi, and 302Bi prepare -- having -- \*\*\*\* -- an irradiation labor attendant side -- all -- the object for p-polarized light transparency -- polarizing plate 302Ro, 302Go, and 302Bo are prepared. At this time, the orientation condition of the liquid crystal of liquid crystal panels 301R, 301G, and 301B is set up identically.

[0049] Moreover, the light injected in this example from the 1st and 3rd liquid

crystal light valves 300R and 300B turns into s-polarized light light, and each liquid crystal light valve is constituted so that the light injected from the 2nd liquid crystal light valve 300G may turn into p-polarized light light. This is for raising the utilization effectiveness of the light of the cross dichroic prism 520. That is, the reflection property of two reflective film 521,522 formed in the cross dichroic prism 520 excels p-polarized light light in the s-polarized light light, and the transparency property excels [ light / p-polarized light ] s-polarized light light in reverse. For this reason, light which should be reflected by two reflective film 521,522 is made into s-polarized light light, and light which should penetrate two reflective film 521,522 is made into p-polarized light light.

[0050] In addition, the 1st of this example thru/or the 3rd liquid crystal light valve 300R, 300G, and 300B are equivalent to the 1st thru/or the 3rd electro-optic device in this invention. Generally, although the word of an electro-optic device may mean the electro-optic device in a narrow sense in which only a liquid crystal panel is shown, it means the electro-optic device of the wide sense which contains a polarizing plate,  $\lambda/2$  phase-contrast plate, etc. other than a liquid crystal panel on these descriptions.

[0051] By the way, in this example,  $\lambda/2$  phase-contrast plates 303R and 303G which were formed in the irradiation labor attendant side of the 1st and 3rd liquid crystal light valves 300R and 300B indicated to be  $\lambda/2$  phase



contrast layer 66b of the polarization generating optical system 160 shown in drawing 3 to drawing 4 are formed with Xtal. Thus, even if it uses Xtal,  $\lambda/2$  phase-contrast plate can be formed. Here, Xtal is SiO<sub>2</sub>. The single crystal is meant. As Xtal, synthetic rock crystal may be used and natural Xtal may be used.

[0052] Drawing 5 is the explanatory view showing the crystal structure of Xtal. Xtal is a crystal of trigonal system and is surrounded by the crystal faces, such as the Rth page, the r-th page, and the m-th page. Moreover, the X-axis of Xtal, a Y-axis, and the Z-axis are determined by relation which is illustrated.

[0053] In addition, although  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R prepared in the irradiation labor attendant side of 1st liquid crystal light valve 300R shown in drawing 4 are explained to an example below, the same is said of  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b of the polarization generating optical system 160 shown in  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303B prepared in the irradiation labor attendant side of 3rd liquid crystal light valve 300B, or drawing 3.

[0054] Drawing 6 is the explanatory view expanding and showing  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R prepared in the irradiation labor attendant side of 1st liquid crystal light valve 300R.  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R (it is also hereafter called the "Xtal substrate") is formed so that the Z-axis (namely, optical axis) of Xtal shown in drawing 5 may become in parallel with the front face S of a substrate, and so that thickness d of a substrate may become predetermined

thickness. This  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R are obtained by carrying out sequential polish of Xtal shown in drawing 5 . For example,  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R can be obtained by grinding so that a field parallel to YZ side formed of the Y-axis and the Z-axis which are shown in drawing 5 may turn into the front face S of a substrate. In addition, in drawing 6 , thickness d of  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R is expanded considerably, and is drawn.

[0055] As shown in drawing 6 , the p-polarized light injected from 2nd polarizing plate 302Ro for p-polarized light transparency ( drawing 4 ) carries out incidence to  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R.  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R is arranged on the optical path so that the angle of the oscillating direction of the electric field vector of p-polarized light (linearly polarized light) and the optical axis (Z-axis) of Xtal which carry out incidence to accomplish may become about 45 degrees. The p-polarized light which carried out incidence to Xtal substrate 303R progresses the inside of Xtal substrate 303R with phase velocity which separates to the ordinary ray and extraordinary ray which are among Xtal substrate 303R and have the equal amplitude, and is different.

[0056] Thickness d of Xtal substrate 303R is set as  $\pi$  Thickness from which the phase contrast of an ordinary ray and an extraordinary ray shifts mostly, and

thickness which shifts by  $1/2$  wave, if it puts in another way. Thereby, from  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R, the s-polarized light (linearly polarized light) which has the oscillating direction which intersects perpendicularly with the oscillating direction of the electric field vector of the p-polarized light (linearly polarized light) which carried out incidence is injected.

[0057] Thickness  $d$  of Xtal substrate 303R is set up according to the following formula (1).

[0058]

[Equation 1]

$$d = \frac{\lambda}{2(n_e - n_o)} \cdot (1 + 2m) \quad \dots\dots (1)$$

$m = 0, 1, 2, 3 \dots$

[0059]  $\lambda$  is the wavelength of the light which carries out incidence here, and  $m$  is zero or more integers. Moreover,  $n_o$  is the refractive index (ordinary index) of an ordinary ray, and  $n_e$  is the refractive index (extraordinary-ray refractive index) of an extraordinary ray.

[0060] In addition, the ordinary indices to the light of Xtal are about 1.557, about 1.546, and about 1.542, respectively, when wavelength  $\lambda$  is about 404.7nm, about 546.1nm, and about 656.3nm. Similarly, extraordinary-ray refractive indexes are about 1.567, about 1.555, and about 1.551, respectively,

when wavelength  $\lambda$  is about 404.7nm, about 546.1nm, and about 656.3nm.

[0061] As shown in a formula (1), when the value of an integer  $m$  is comparatively small, thickness  $d$  of  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R becomes comparatively small. In this case, there is an advantage that the wavelength dependency of the phase contrast generated by  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R, the incident angle dependency of incident light, temperature dependence, etc. can be made small. On the other hand, when the value of an integer  $m$  is comparatively large, thickness  $d$  of  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R becomes comparatively large. In this case, since the wavelength dependency of the phase contrast generated by  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R becomes large, while there is an advantage that wavelength selectivity can be raised, there is an advantage that the handling of  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R becomes easy. As shown in drawing 4 , when preparing independently  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R, it is desirable to set thickness  $d$  to about 300 micrometers or more. However, when sticking and using  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R for the attachment component which has maintenance functions, such as glass substrate 308R of drawing 4 , and the cross dichroic prism 520, it is also possible to make thickness  $d$  still smaller.

[0062] By the way, although the case where Xtal was used as  $\lambda/2$

phase-contrast plate 303R was explained above, it replaces with Xtal and you may make it use single crystal sapphire. The thermal conductivity of single crystal sapphire is larger than the thermal conductivity of Xtal. For this reason, in using single crystal sapphire, there is an advantage that the temperature rise of the lambda/the 2 phase-contrast plate 303R itself can be reduced more. On the other hand, as mentioned above, in using Xtal, there is an advantage that lambda / 2 phase-contrast plate can be produced comparatively easily. This is because processing for Xtal (synthetic rock crystal) being manufactured by the large quantity at once using the training furnace called a well-known autoclave, and considering as a predetermined configuration since the degree of hardness is lower than single crystal sapphire is easy. In addition, as well as the optical axis (Z-axis) of Xtal shown in [drawing 6](#) when using single crystal sapphire, the optical axis of single crystal sapphire is set up.

[0063] Thus, since thermal conductivity is comparatively high when using single crystal sapphire and Xtal, the temperature rise of the lambda/the 2 phase-contrast plate 303R itself can be reduced, consequently the temperature dependence of the optical property of single crystal sapphire or Xtal can be reduced.

[0064] In addition, above-mentioned Xtal is a crystal of trigonal system, and single crystal sapphire is the crystal of hexagonal system. Thus, if the uniaxial

crystal which has only one optical axis of the crystal of trigonal system, hexagonal system, and tetragonal system etc. is used, the above  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R are producible. As a uniaxial crystal, it is also possible besides above-mentioned Xtal or single crystal sapphire to use the calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) of trigonal system, the cadmium sulfide ( $\text{CdS}$ ) of hexagonal system, etc. In addition, a formula (1) is  $n_o > n_e$  like Xtal. It is a formula in the case of the becoming positive crystal, and is  $n_o < n_e$  like a calcite. In the case of the becoming negative crystal, it is  $n_o < n_e$  of a formula (1).  $n_e$  What is necessary is just to use the replaced formula.

[0065] Moreover, as  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R, it is also possible to use biaxial crystal, such as a mica. About a mica, although it is biaxial crystal, it can be practically dealt with as a uniaxial crystal. In addition, biaxial crystal means the crystal which has two optical axis, such as triclinic system, and monoclinic system, orthorhombic system.

[0066] Generally, as a phase contrast plate, a birefringence crystal which produces birefringences, such as a uniaxial crystal and biaxial crystal, can be used. In addition, there is an advantage that the direction in the case of using a uniaxial crystal can design easily the phase contrast plate which demonstrates a desired optical property.

[0067] As mentioned above, as explained, in the projector 1000 of this example,

the illumination-light study system 100 is equipped with the polarization generating optical system 160 which injects a predetermined polarization light, and the polarization generating optical system 160 is equipped with  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b for arranging with another side one side of two kinds of polarization light injected from the polarization beam splitter array 64 and the polarization beam splitter array 64 for dividing into two kinds of polarization light the light which carries out incidence. Moreover, the 1st of this example and the 3rd liquid crystal light valve 300R and 300B equip the irradiation labor attendant side with  $\lambda/2$  phase-contrast plates 303R and 303B. If the phase contrast layer formed as birefringence crystals, such as Xtal, is used as such  $\lambda/2$  phase-contrast layer 66b, and the  $\lambda/2$  phase-contrast plates 303R and 303B, while being able to reduce considerably degradation of the optical property by generation of heat of a phase contrast layer compared with the case where the conventional phase contrast film is used, it becomes possible to raise the endurance of a phase contrast layer.

[0068] B. The 2nd example : drawing 7 is the explanatory view expanding and showing liquid crystal light valve 300Ra in the 2nd example, 300Ga, and 300Ba. Although liquid crystal light valve 300Ra of this example, 300Ga, and 300Ba have the almost same configuration as the liquid crystal light valves 300R, 300G, and 300B of the 1st example ( drawing 4 ), the configuration by the side of the

irradiation labor attendant of the 1st and 3rd liquid crystal light valve 300Ra, and 300Ba is changed.

[0069] Although polarizing plate 302Ro by the side of the irradiation labor attendant of 1st liquid crystal light valve 300R is prepared on glass substrate 308R and lambda/2 phase-contrast plate 303R is specifically independently prepared in the 1st example ( drawing 4 ), in this example, polarizing plate 302Ro by the side of an irradiation labor attendant is prepared on lambda/2 phase-contrast plate 303R. In addition, the same is said of the irradiation labor attendant side of 3rd liquid crystal light valve 300Ba.

[0070] Since lambda/2 phase-contrast plate 303R can hold polarizing plate 302Ro like this example when polarizing plate 302Ro is prepared on lambda/2 phase-contrast plate 303R, it becomes possible to omit glass substrate 308R for holding polarizing plate 302Ro shown in drawing 4 .

[0071] By the way, it generates heat in order to interrupt parts for Mitsunari other than a predetermined polarization component (p-polarized light), in case the modulation light injected from liquid crystal panel 301R carries out incidence of the polarizing plate 302Ro. Since such generation of heat becomes the cause of degrading the optical property of a polarizing plate, it is [ the temperature of a polarizing plate ] desirable to make it as low as possible. Single crystal sapphire, Xtal, etc. have thermal conductivity larger than glass. Therefore, if the substrate



formed with single crystal sapphire or Xtal is used as  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R, it will become possible to reduce considerably the temperature rise by generation of heat of polarizing plate 302Ro from the case where glass substrate 308R is used.

[0072] In addition, the thermal conductivity of Xtal differs in the direction parallel to the Z-axis, and the vertical direction. That is, the thermal conductivity of Xtal is about 9.3 (W/(m-k)) in a direction parallel to the Z-axis, and is about 5.4 (W/(m-k)) in a direction vertical to the Z-axis. Thus, Xtal has the advantage that distribution can be made more into homogeneity whenever [ field internal temperature / of polarizing plate 302Ro ] while being able to reduce the temperature rise of polarizing plate 302Ro efficiently when the Z-axis of Xtal uses the front face of a substrate, and Xtal substrate 303R mostly set as parallel like this example since the direction of the thermal conductivity of a direction parallel to the Z-axis is large. <BR> [0073] C. The 3rd example : drawing 8 is the explanatory view expanding and showing liquid crystal light valve 300Rb in the 3rd example, 300Gb, and 300Bb. Although liquid crystal light valve 300Rb of this example, 300Gb, and 300Bb have the almost same configuration as liquid crystal light valve 300Ra of the 2nd example ( drawing 7 ), 300Ga, and 300Ba, the configuration by the side of 1st and 3rd liquid crystal light valve 300Rb(s) and the irradiation labor attendant of 300Bb is changed.

[0074] In the 2nd example ( drawing 7 ), although polarizing plate 302Ro by the side of the irradiation labor attendant of 1st liquid crystal light valve 300Ra is prepared on lambda/2 phase-contrast plate 303R, specifically in this example, polarizing plate 302Ro by the side of an irradiation labor attendant is prepared on the 1st lambda / 4 phase-contrast plate 303R1. And the 2nd lambda / 4 phase-contrast plate 303R2 are formed in the optical plane of incidence of the cross dichroic prism 520.

[0075] Thickness d of the Xtal substrate as lambda / a 4 phase-contrast plate 303R1,303R2 is set up according to the following formula (2).

[0076]

[Equation 2]

$$d = \frac{\lambda}{4(n_c - n_o)} \cdot (1 + 4m)$$

$$m = 0, 1, 2, 3 \dots \dots \dots (2)$$

[0077] In addition, as well as the optical axis (Z-axis) of Xtal shown in drawing 6 when using two lambda / 4 phase-contrast plates 303R1,303R2, the optical axis of the 1st and 2nd lambda / 4 phase-contrast plates 303R1,303R2 should just be set up. At this time, the p-polarized light light (linearly polarized light light) which carried out incidence to the 1st lambda / 4 phase-contrast plate 303R1 is changed into circular polarization of light light, and is injected, and the circular

polarization of light which carried out incidence to the 2nd  $\lambda/4$  phase-contrast plate 303R2 will be changed into s-polarized light (linearly polarized light), and will be injected.

[0078] Thus,  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R of drawing 7 can be replaced with two  $\lambda/4$  phase-contrast plates 303R1, 303R2. In addition, the same is said of the irradiation labor attendant side of 3rd liquid crystal light valve 300Bb.

[0079] Like this example, even if it uses two  $\lambda/4$  phase-contrast plates 303R1, 303R2 as  $\lambda/2$  phase-contrast plate, the same effectiveness as the 2nd example is done so. That is, while glass substrate 308R for holding polarizing plate 302Ro by the side of an irradiation labor attendant in the 1st example is omissible, it becomes possible to reduce considerably the temperature rise by generation of heat of polarizing plate 302Ro.

[0080] In addition, this invention can be carried out in various modes in the range which is not restricted to an above-mentioned example or an above-mentioned operation gestalt, and does not deviate from that summary, for example, the following deformation is also possible for it.

[0081] (1) In the 1st above-mentioned example ( drawing 4 ), although  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R is prepared in the irradiation labor attendant side of 1st liquid crystal light valve 300R,  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R may be prepared in the optical plane-of-incidence side of a liquid crystal light valve. In

this case, the liquid crystal light valve should just be constituted so that the s-polarized light which carries out incidence to the 1st liquid crystal light valve may pass in order of  $\lambda / 2$  phase-contrast plate, the polarizing plate for p-polarized light transparency, a liquid crystal panel, and the polarizing plate for s-polarized light transparency. At this time, incidence of the s-polarized light which carries out incidence to a liquid crystal light valve is carried out to  $\lambda / 2$  phase-contrast plate, and it is changed into p-polarized light. P-polarized light passes the polarizing plate for p-polarized light transparency almost as it is, and is modulated with a liquid crystal panel. A liquid crystal panel changes into s-polarized light a part of p-polarized light which carried out incidence, and only s-polarized light is injected from the polarizing plate for s-polarized light transparency arranged at the irradiation labor attendant side.

[0082] In addition, the polarizing plate for p-polarized light transparency prepared in the optical plane-of-incidence side of a liquid crystal light valve may be made to be prepared on  $\lambda / 2$  phase-contrast plate like the 2nd example also in this case. Moreover, it replaces with  $\lambda / 2$  phase-contrast plate, and you may make it use two  $\lambda / 4$  phase-contrast plates like the 3rd example.

[0083] Thus, generally the liquid crystal light valve should just be equipped with the phase contrast layer formed at least in one side of the inside by the side of

the optical plane of incidence and an irradiation labor attendant as birefringence crystals, such as Xtal.

[0084] (2) Although the polarization beam splitter array 64 which contains two or more polarization demarcation membrane 64a as polarization generating optical system 160 is used in the above-mentioned example as shown in drawing 2 , it replaces with this and you may make it use the polarization beam splitter containing one polarization demarcation membrane. In addition,  $\lambda / 2$  phase-contrast plate formed in either the injection side of the p-polarized light of a polarization beam splitter or the injection sides of s-polarized light light as birefringence crystals, such as Xtal, will be formed also in this case.

[0085] Generally, the polarization generating section should just be equipped with the phase contrast layer for arranging with another side one side of two kinds of polarization light injected from the polarization separation section and the polarization separation section for dividing into two kinds of polarization light the light which carries out incidence.

[0086] (3)  $\lambda/2$  phase contrast layer 66b of the polarization generating optical system 160 shown in drawing 3 in the above-mentioned example, Although the case where the phase contrast plate formed as birefringence crystals, such as Xtal, was used for  $\lambda / 2$  phase-contrast plates 303R and 303G which were formed in the irradiation labor attendant side of the 1st and 3rd

liquid crystal light valves 300R and 300B shown in drawing 4 was explained The phase contrast plate formed as a birefringence crystal may be used for other parts of a projector 1000 ( drawing 1 ).

[0087] As [ form / it has the phase contrast layer for changing the polarization condition of the light which carries out incidence, and injecting, and / as a projector of this invention, / generally, / into the optical path including an illumination-light study system and projection optical system, / just / as a birefringence crystal / this phase contrast layer ]

[0088] (4) Although the above-mentioned example explains the case where this invention is applied to the projector of a transparency mold to the example, this invention can be applied also to the projector of a reflective mold. Here, the "transparency mold" means that it is the type whose electro-optic device as a light modulation means penetrates light like a transparency mold liquid crystal panel, and means that a "reflective mold" is a type whose electro-optic device as a light modulation means reflects light like a reflective mold liquid crystal panel. Also when this invention is applied to the projector of a reflective mold, the almost same effectiveness as the projector of a transparency mold can be acquired.

[0089] (5) Although the projector 1000 is equipped with the liquid crystal panel as an electro-optic device, it is replaced with this and you may make it equipped

with micro mirror mold light modulation equipment in the above-mentioned example. As micro mirror mold light modulation equipment, DMD (digital micro mirror device) (trademark of TI, Inc.) can be used, for example. What is necessary is just to modulate incident light generally as an electro-optic device according to image information.

[0090] (6) In the above-mentioned example, although the projector 1000 which displays a color picture is explained to an example, also in the projector which displays a monochrome image, it is the same.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the explanatory view showing the projector which applied this invention.

[Drawing 2] It is the explanatory view expanding and showing the illumination-light study system 100 of drawing 1 .

[Drawing 3] It is the explanatory view showing the polarization generating optical system 160.

[Drawing 4] It is the explanatory view expanding and showing the liquid crystal

light valves 300R, 300G, and 300B of drawing 1 .

[Drawing 5] It is the explanatory view showing the crystal structure of Xtal.

[Drawing 6] It is the explanatory view expanding and showing  $\lambda/2$  phase-contrast plate 303R prepared in the irradiation labor attendant side of 1st liquid crystal light valve 300R.

[Drawing 7] It is the explanatory view expanding and showing liquid crystal light valve 300Ra in the 2nd example, 300Ga, and 300Ba.

[Drawing 8] It is the explanatory view expanding and showing liquid crystal light valve 300Rb in the 3rd example, 300Gb, and 300Bb.

[Description of Notations]

62 -- Gobo

62a -- Effective area

62b -- Face shield

64 -- Polarization beam splitter array

64a -- Polarization demarcation membrane

64b -- Reflective film

64c -- Glass material

66 -- Selection phase contrast plate

66a -- Opening layer

66 b-- $\lambda/2$  phase contrast layers



100 -- Illumination-light study system

1000 -- Projector

100ax(es) -- System optical axis

120 -- Light equipment

120ax(es) -- Light source optical axis

122 -- Arc tube

124 -- Reflector

126 -- Parallel-ized lens

140,150 -- Lens array

142,152 -- Smallness lens

160 -- Polarization generating optical system

170 -- Superposition lens

200 -- Colored light separation optical system

202,204 -- Dichroic mirror

208,224,228 -- Reflective mirror

220 -- Relay optical system

222 -- Incidence side lens

226 -- Relay lens

232,234,230 -- Field lens

300R, 300G, 300B -- Liquid crystal light valve

300Ra, 300Ga, 300Ba -- Liquid crystal light valve

300Rb(s), 300Gb, 300Bb -- Liquid crystal light valve

301R, 301G, 301B -- Liquid crystal panel

302Ri(s), 302Ro -- Polarizing plate

302Bi(s), 302Bo -- Polarizing plate

302Gi(s), 302Go -- Polarizing plate

303R, 303 B-- $\lambda/2$  phase-contrast plate (Xtal substrate)

307R, 307G, 307B -- Glass substrate

308R, 308G, 308B -- Glass substrate

520 -- Cross dichroic prism

521 -- Red light reflex film

522 -- Blue glow reflective film

540 -- Projection lens

S -- Front face

LA -- Lighting field

SC -- Screen